

## CAPÍTULO 1

# ACTIVIDAD SOLAR

---

### *1.1 Introducción*

La tierra y sus habitantes son beneficiados por la luz radiante del sol, sus interesantes fenómenos aún encierran diversos procesos físicos como la aceleración de partículas, estructura electromagnética, propagación de material solar, etc. Con el avance en la tecnología se desarrollan nuevos detectores de partículas, con base en tierra y en el medio interplanetario, para plantear nuevos modelos que describan el comportamiento del astro rey. Podemos ver al sol como una gran máquina aceleradora de partículas que llegan a tomar velocidades hasta el régimen relativista; una pequeña porción de éstas logran obtener energías tan altas capaces de penetrar la atmosfera terrestre, su repercusión en las estaciones eléctricas y redes de telecomunicaciones ya han sido reportados (Suess y Tsurutani, 1998).

Las condiciones extremas solares representan un gran campo de estudio en la comunidad científica, día a día se revelan nuevos avances en el tema con el único fin de comprender los procesos extraordinarios que sólo se observan en las estrellas.

## 1.2 Estructura Solar

Podemos considerar al sol como un laboratorio para realizar observaciones que sólo se dan en las condiciones especiales de las estrellas. Siendo la principal fuente de energía, su estudio se vuelve indispensable para entender los fenómenos en el universo y algunos que afectan directamente a la tierra por encontrarse dentro de su atmosfera y estar bajo su influencia inmediata.

La combinación de su campo electromagnético, rotación diferencial, plasma, movimientos de convección, altas presiones y temperaturas, etc., dan por resultado un gran número de fenómenos en diversas escalas temporales, espaciales y energéticas; el sol emite grandes cantidades de energía en forma de radiación, partículas aceleradas y grandes cantidades de masa; algunos de estos fenómenos pueden afectar el campo magnético terrestre y repercutir en daños de redes eléctricas o satelitales. En la actualidad existen teorías que asocian el comportamiento de ciertos animales con la actividad solar.

Los fenómenos solares dominan completamente el medio interplanetario (el medio que separa al sol de la tierra y los otros planetas) llamado clima espacial; en particular los fenómenos eruptivos como las ráfagas, eyecciones de masa coronal, etc., emiten radiación electromagnética y partículas de alta energía que causan grandes perturbaciones en el medio interplanetario.

Para la descripción de fenómenos solares se plantean modelos teóricos que se encuentran sujetos a observaciones disponibles como su masa ( $m = 1.9891 \times 10^{33} \pm 0.02\%g$ ), radio ( $R = 6.96 \times 10^{10} \pm 0.01\%cm$ ), luminosidad ( $3.8515 \times 10^{33} \pm 0.01erg/s$ ), etc., y a principios físicos generales como la conservación de la energía, transporte de energía (radiación y convección), la ecuación de estado (relación entre la presión, densidad y temperatura), reacciones nucleares, entre otros.

El elemento más abundante presente en el sol es el hidrogeno (~75%), el segundo componente principal es helio (~24%) y una cantidad relativamente pequeña de elementos más pesados (~1%). Por las condiciones de presión ( $\sim 10^{11} atm$ ) y temperatura ( $\sim 10^7 K$ ) en el núcleo (los primeros 0.25 Radios solares) las interacciones entre protones tienen gran probabilidad de ocurrir, dando como resultado final, núcleos de helio; la energía que se produce en esta capa solar se encuentra principalmente en forma de radiación electromagnética dura (rayos gamma y rayos x) y neutrinos.

## CAPÍTULO 1 ACTIVIDAD SOLAR

Fuera del núcleo la presión decae de tal forma que ya no se llevan a cabo las condiciones para la fusión, pero la presión es suficiente para no permitir el movimiento de masa; el mecanismo más eficiente de transporte de energía es en forma de radiación electromagnética. La región de 0.25-0.7 radios solares se denomina zona de radiación, siendo los fotones los únicos que pueden escapar de las condiciones extremas de presión y transportar energía.

Después de los 0.7 radios solares la presión y temperatura descienden, como efecto, la radiación electromagnética deja de ser un mecanismo eficiente de transporte de energía; por las condiciones en esta región, se facilita el paso a la formación de hidrógeno molecular, generándose un gradiente de temperatura que se traduce en el movimiento de masas (convección). Este mecanismo forma celdas convectivas (consideradas adiabáticas) de varios cientos de kilómetros, la región de 0.7-1 radios solares es llamada zona convectiva. El núcleo, zona radiativa y zona convectiva constituyen la parte interna del sol y conforman un radio solar.

A partir de un radio solar la densidad disminuye drásticamente comenzando la atmósfera solar; en esta región las ondas electromagnéticas alrededor de  $5000 \text{ \AA}$  pueden propagarse libremente y salir del sol; la transición entre el interior y la atmósfera se conoce como fotosfera. La energía proveniente de las capas interiores es radiada en la fotosfera en longitudes de onda que corresponden al espectro visible, su temperatura es de  $\sim 5700 \text{ K}$  con un espesor  $\sim 500 \text{ km}$ .

Es en la fotosfera donde se observan regiones oscuras llamadas manchas solares; fenómeno que es explicado por tubos de flujo de campo magnético provenientes de la zona convectiva, extendiéndose hasta capas superiores de la atmósfera solar; el campo magnético dificulta el flujo del plasma aislándolo del resto y reduciendo su temperatura unos cientos de grados, suficiente para disminuir su radiación.

La siguiente capa es llamada cromósfera, en esta región la temperatura aumenta hasta  $\sim 6000 \text{ K}$  con una altura aproximada de  $1000 \text{ km}$  a  $2000 \text{ km}$ . Rebasando la cromósfera observamos uno de los fenómenos más interesantes de la física solar, el incremento súbito de temperatura de unos  $20\,000 \text{ K}$  hasta llegar a los millones de grados a una altura aproximada de  $2300 \text{ km}$ ; en esta misma región, la densidad decae bruscamente, anomalía que no se explica claramente; la región es conocida como zona de transición. Después de esta altura el incremento en temperatura y

decremento en densidad tienden a estabilizarse delimitando la Corona solar. Las características de las diferentes regiones se pueden observar en el recuadro 1.1 (Cordero *et al.*, 2006)

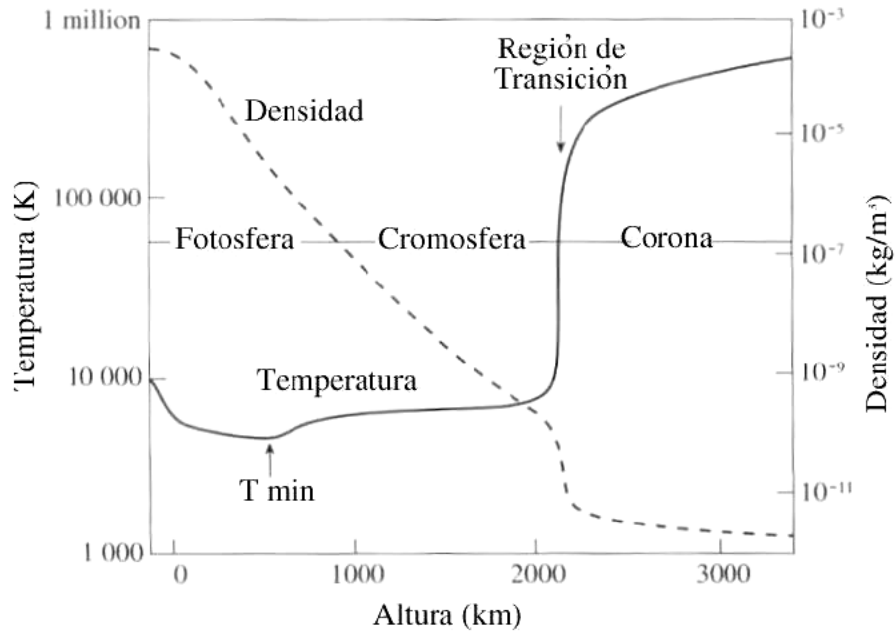


Figura 1.1 Representación de la atmósfera solar con sus diferentes regiones en función de la altura, densidad y temperatura.

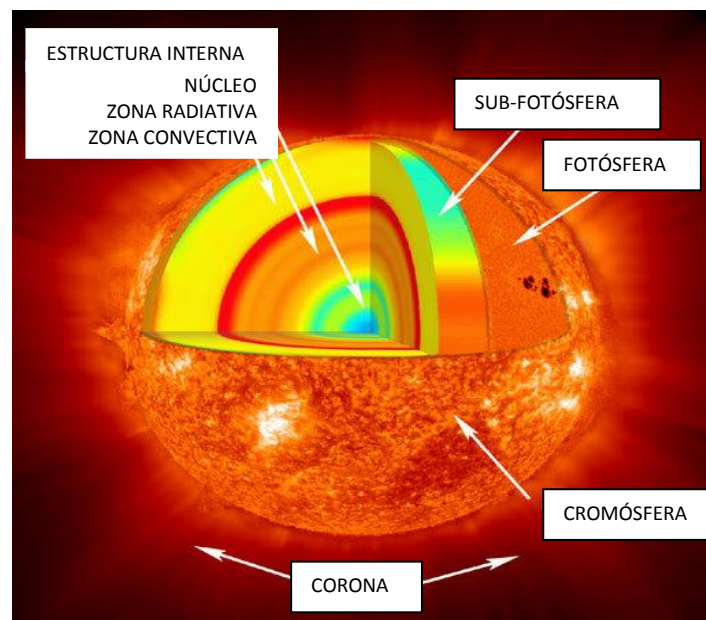


Figura 1.2 Estructura solar.

## 1.3 Campo Magnético

El campo magnético solar se explica inicialmente en la base de la zona convectiva, donde tiene lugar un proceso de dínamo que genera campo magnético constantemente; los registros demuestran que existe un cambio cíclico en la configuración de aproximadamente 5.5 años.

El comportamiento magnético del sol se distingue al de la tierra por su rotación diferencial; el sol no rota como un cuerpo rígido, por consecuencia, el material en latitudes ecuatoriales gira más rápido en comparación con sus polos. Este fenómeno modifica la estructura del campo magnético, estirando las líneas de fuerza en el ecuador y generando el denominado efecto *omega*, que en combinación con la Fuerza de Coriolis<sup>1</sup> forman tubos de campo magnético (cuerdas magnéticas); del inicio de la configuración dipolar hasta llegar a la configuración toroidal, se tiene un promedio de 5.5 años, esta última configuración contiene la mayor tasa de manchas solares presentándose el máximo de actividad solar. Después de alcanzar el extremo las líneas de campo magnético sufren una reestructuración hasta llegar a un estado de mínima energía tomando nuevamente la configuración dipolar, como efecto decae el número de manchas solares hasta casi desaparecer, este ciclo es muy marcado y corresponde a un periodo característico aproximado de 11 años.

En la atmósfera solar tienen lugar una gran cantidad de fenómenos, la liberación súbita de energía puede acelerar partículas hasta el régimen relativista, proyectar grandes cantidades de material solar o emitir enormes destellos de radiación en todas las longitudes de onda. En la actualidad ya se cuenta con algunos modelos que expliquen parcialmente estos fenómenos.

En ocasiones la corona solar se desestabiliza arrojando hacia el medio interplanetario material (promedio  $\sim 5 \times 10^{15} g$ ) que se encuentra en su entorno, a éste fenómeno se le conoce como *eyección de masa coronal* (CME por sus siglas en inglés). Las velocidades de proyección pueden alcanzar los 2000 [km/s]; alrededor de un tercio de todas las CME viajan lo suficientemente rápido como para conducir a colisiones de onda de choque, estas ondas son las causantes de la aceleración de partículas solares, sobre todo por debajo de los 10 MeV. Aunque muchas grandes fulguraciones solares son acompañadas de eyecciones de masa coronal, únicamente pocas eyecciones de masa coronal aceleran partículas a falta de fulguraciones, mientras que las

---

<sup>1</sup> Fuerza que experimentan los objetos al desplazarse sobre la superficie de un cuerpo en rotación.

fulguraciones pueden acelerar partículas sin la presencia de eyecciones de masa coronal (Suess y Tsurutani, 1998, Pérez-Peraza, 1998, Pérez-Peraza y Miroschnichenko, 2008).

Las ráfagas o fulguraciones son el resultado de la aceleración por la inestabilidad en el campo magnético en la corona, se dividen en tres etapas, pre-ráfaga, fase impulsiva y fase térmica.

## 1.4 Viento Solar

La existencia del viento solar se sustentó a partir de observaciones en la deflexión de la cola de los cometas por L. Biermann (1951). La orientación de los iones de la cola se encuentra en dirección contraria al sol y adoptan velocidades moduladas por el viento solar y el cometa.

De acuerdo a investigaciones recientes se ha establecido que, en 1 AU (unidad astronómica) el viento solar tiene una densidad típica de iones alrededor de  $7 \text{ cm}^{-3}$ ; lo compone el 95% de protones, 5% de helio y lo demás de iones de menor importancia, con una velocidad en el rango de  $300\text{-}700 \text{ km/s}$  (Suess y Tsurutani, 1998). Algunos de los efectos del viento solar sobre los astros con campos magnéticos son auroras y tormentas geomagnéticas.

Las propiedades del viento solar tienden a variar por la cambiante estructura magnética solar; sus corrientes se deben a configuraciones magnéticas que giran por los cambios en el balance de las líneas magnéticas, produciendo alteraciones dentro del campo de fuerzas en la corona; la acción del campo de fuerzas causa eventos temporales proyectando grandes masas de plasma, conocidos también como eyecciones de masa coronal; fenómeno que se extiende a más de los  $40^\circ$  del disco solar observados en períodos de horas (Suess y Tsurutani, 1998), sus efectos son perturbaciones en el medio interplanetario, flujos de partículas energéticas (aceleradas por ondas de choque) y tormentas geomagnéticas que repercuten en una escala de tiempo mayor.

El viento solar se presenta porque la corona solar es caliente y la presión en el medio interestelar local es mucho menor, entretanto, a lo que se refiere a los mecanismos que calientan la corona y aceleran el viento solar, existen diversos modelos para explicar el fenómeno aunque aún no son muy claros en nuestros días.

En la región de líneas de campo cerrado, la velocidad del viento solar se considera baja; para el caso de las líneas de campo abiertas (altas latitudes) que se extienden hacia el espacio interplanetario, la velocidad del viento solar es alta (figura 1.3).

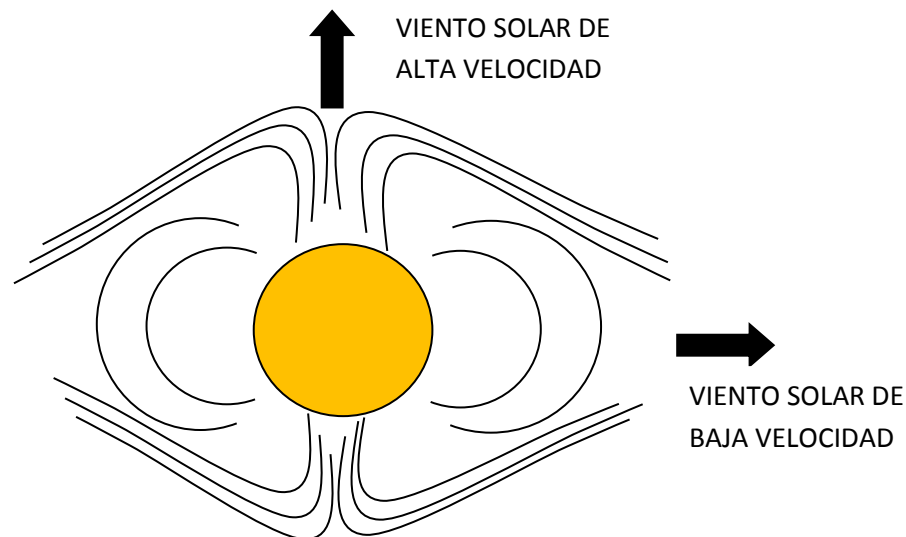


Figura 1.3. Líneas de campo magnético abiertas y cerradas y su relación con la velocidad del viento solar.

Por la complejidad que presentan los procesos que actúan cerca de la superficie solar, se han manejado un sin fin de estudios, uno de ellos, es la elaboración de observaciones telescópicas para resolver la actividad en pequeña escala de la cromósfera y la corona, para la búsqueda de indicios que aporten información sobre las causas que generan la gran diferencias en temperatura; observaciones ópticas de múltiples longitudes de onda con resolución de 0.1 arcseg son obtenidos sobre la atmósfera, esto para la investigación coronal y su relación con el viento solar.

Las interferencias presentes en el calentamiento y la aceleración del viento solar, dependen de las observaciones *in situ* del plasma en el espacio interplanetario. Observaciones del viento solar de 0.3 AU a más de 50 AU demuestran la operación de una gran variedad de procesos que afectan su evolución (Suess y Tsurutani, 1998).

Los intentos por comprender la física del viento solar llevan a utilizar una amplia variedad de información, incluyendo observaciones de la mayor parte de sus propiedades como las fluctuaciones, distribuciones de velocidad, composición del viento solar, su conexión magnética, observaciones de ondas de plasma, observaciones telescópicas en todo el rango de longitudes, inestabilidad de ondas de plasma, turbulencia, etc. El viento solar proporciona un excelente laboratorio para la turbulencia magnetohidrodinámica en un amplio rango de escalas espaciales.

## 1.5 Fulguraciones Solares

Las fulguraciones solares emiten radiación electromagnética en un rango muy amplio de longitudes de onda, en los casos extremos van de  $0.002 \text{ \AA}$  ( $2 \times 10^{-11} \text{ cm}$ ) a más de  $10 \text{ km}$  ( $10^6 \text{ cm}$ ). Esta radiación puede ser continua en algunas partes del espectro, líneas de emisión en otros, o una combinación de ambos (Zdeněk Švestka, 1976); los diferentes tipos de radiación provienen de diferentes alturas por encima de la fotosfera y de diferentes partes de la fulguración. El análisis espectral de las fulguraciones en la región de la cromósfera, implica temperaturas cercanas a  $10^4 \text{ K}$ , análisis de rayos X a alturas de  $20\,000 \text{ km}$  demuestran la existencia de temperaturas que exceden los  $10^7 \text{ K}$ ; como las regiones de baja y alta temperatura implican condiciones físicas muy diferentes, las discusiones sobre el fenómeno se estudian por separado como fulguraciones de baja temperatura y fulguraciones de alta temperatura<sup>2</sup>.

Las fulguraciones son muy diferentes en tamaño e importancia, lo que tienen en común todos los eventos es un rápido calentamiento temporal de una parte restringida de la corona solar y la cromósfera. Dependiendo de la configuración magnética existen procesos que pueden acelerar electrones y núcleos atómicos.

En la fulguración se observa aceleración de partículas en el régimen no relativista y medianamente relativista. Estas partículas son detectadas en el espacio y en realidad no se tiene evidencia de que los protones sean acelerados en la misma región y en el mismo tiempo que los electrones por debajo del régimen relativista.

---

<sup>2</sup> Una mayor discusión en Solar Flares, Švestka, 1976.



Cuando los protones son detectados usualmente son acompañados por electrones relativistas; los eventos de protones más comunes contienen energías en el orden de 10MeV (o menores), muy ocasionalmente una fulguración conlleva protones con energías mayores a los 100MeV y de manera aún menos común, protones con energías que exceden 1GeV; estos últimos producen un incremento en el flujo de partículas registrándose en las estaciones de neutrones con base en tierra, eventos denominados rayos cósmicos solares o protones relativistas solares (RSP).

## 1.6 Rayos Cósmicos

Hoy en día se sabe que cerca del 90% de los rayos cósmicos primarios que llegan al tope de la atmosfera son protones, el resto son partículas alfa y núcleos pesados; estos átomos ionizados que van desde un solo protón hasta núcleos de hierro, viajan con velocidades cercanas a la velocidad de la luz; aunque en realidad se desconoce el origen de las energías tan altas de los rayos cósmicos galácticos (RCG), se cree que son producidos por diversas fuentes como el sol, supernovas, estrella de neutrones, hoyos negros, núcleos activos de galaxias, etc. El flujo de los RCG en el sistema solar es modulado por la actividad solar. Una pequeña fracción de las partículas primarias tienen energías superiores a  $10^{16}$ eV, las partículas secundarias son creadas por la interacción de las partículas primarias con núcleos atómicos (por lo general una molécula de oxígeno o de nitrógeno) de la atmósfera terrestre.

Existen tres tipos diferentes de rayos cósmicos (Mewaldt *et al.*, 1994.):

- 1.-Rayos Cósmicos Galácticos: se originan fuera de nuestro sistema solar.
- 2.-Rayos Cósmicos Solares: también conocidos como partículas energéticas solares, se asocian a fenómenos solares como fulguraciones o eyecciones de masa coronal.
- 3.-Rayos Cósmicos Anómalos: su origen es en el espacio interestelar más allá de la heliopausa<sup>3</sup>, se diferencia de los anteriores por la composición de átomos neutros.

---

<sup>3</sup> Supone la frontera entre el sistema solar y el espacio interestelar, se encuentra a  $\sim 100$ [AU].

## 1.6.1 Rayos Cósmicos Solares

Los rayos cósmicos solares, también conocidos como partículas energéticas solares (SEP por sus siglas en inglés) vienen en su mayoría de las fulguraciones solares. Las eyecciones de masa coronal y las ondas de choque también producen partículas energéticas en el medio interplanetario. La composición es similar a los rayos cósmicos galácticos en su mayoría son protones, alrededor del 10% núcleos de He y el resto de elementos más pesados.

Los rayos cósmicos solares fueron descubiertos en primer lugar (experimentalmente) el 28 de febrero de 1942, como un aumento repentino de los contadores de partículas; el incremento en la tasa de conteo se asoció con una fulguración solar. Los detectores de rayos cósmicos, en ocasiones han registrado aumentos repentinos en la intensidad de la radiación asociado a fenómenos en el sol, sobre todo con las fulguraciones. Su estudio es de particular importancia por la implementación en la predicción de flujo de partículas (que pueden ser perjudiciales para los sistemas de telecomunicaciones estaciones eléctricas), el análisis de las condiciones interplanetarias y de la predicción de fuertes tormentas geomagnéticas.

Los eventos de SEP con energías mayores a 500 MeV son conocidos como Eventos a Nivel de Suelo (GLE por sus siglas en inglés); las partículas tienen energías suficientemente altas con capacidad de penetrar la atmósfera terrestre y como resultado pueden ser registrados en los monitores de neutrones ubicados a nivel terrestre. El primer registro efectuado data del 28 de febrero de 1942 (GLE01), hasta el momento se han presentado 70 eventos (último registrado GLE70, 13 de diciembre de 2006), el evento de mayor intensidad corresponde a GLE05 con fecha del 23 de febrero de 1956.

## 1.7 Datos

Los datos utilizados en este trabajo es una compilación de distintas estaciones de monitoreo; sobre los eventos de 1942-1960 la información es muy limitada debido al número reducido de las estaciones de rayos cósmicos en esa época. Para esos primeros eventos se obtienen los perfiles temporales a partir de artículos, como por ejemplo, los reportados por Scott E. Forbush<sup>4</sup> con

---

<sup>4</sup> Cosmic Rays , The Sun and Geomagnetism, The Works of Scott E. Forbush.

## CAPÍTULO 1 ACTIVIDAD SOLAR

muestreos horario. Para el análisis de estos perfiles se contó con la ayuda del programa digitalizador proporcionado por el *Departamento Mareográfico* del Instituto de Geofísica de la UNAM del cual agradecemos la autorización del Dr. Jorge Zavala Hidalgo. Los datos que utilizamos de 1957-1964 fueron tomados de diferentes estaciones con resoluciones horarias:

Estación	Localización
Polo Sur Antártida	90S
McMurdo Antártida	77.9S 166.6E
Thule, Groelandia	76.5N 68.7W
Newark, Delaware	39.7N 75.7W
Awarthmore, Pennsylvania	39.9N 75.4W

Tabla 1.1 Estaciones de RCG con datos comenzando en 1957 y su ubicación geográfica.

A partir del GLE15 utilizamos el Monitor de Neutrones de Oulu, situado en el norte de Finlandia ( $65.05^{\circ}N, 25.47^{\circ}E$ ); la estación es una de las más estables y fiables de la red mundial de monitores de neutrones (Usoskin, *et al.*, 2001), en la que las mediciones de rayos cósmicos se inició en 1964. La base contiene datos con resoluciones de 1 minuto desde 1995, resoluciones de 5 minutos a partir de 1969 y datos horarios desde 1964, disponibles públicamente en la red <http://cosmicrays oulu:fi>.

La estación de Oulu fue seleccionada porque:

- 1) Es una estación sub-polar, capaz de registrar los GLE.
- 2) Técnicamente este instrumento ha proporcionado un monitoreo continuo, fiable y preciso.

En el anexo A proporcionamos la tabla con las fechas de evento con sus respectivos incrementos reportados.

## 1.8 Panorama actual

El estudio analítico de GLE demuestran que cada evento constituye un caso único, caracterizado por las condiciones específicas solares e interplanetarias durante el periodo de registro (Pérez-Peraza y Miroshnichenko, 2008, Andriopoulou, *et al.*, 2011).

Publicaciones recientes abordan el estudio estadístico de GLE con el fin de aportar datos para la comprensión de mecanismos que explique la física de estos eventos; las características que toman en cuenta son la duración del evento, la intensidad máxima, la ubicación geográfica, así como las conexiones con la actividad solar. Los resultados de estos estudios ubican los eventos con las fases máximas de actividad solar aunque esto no es sistemáticamente cierto (Pérez-Peraza, *et al.*, 2009, Andriopoulou *et al.*, 2011).

Independientemente de la latitud y longitud geográfica, la tasa de incremento en los contadores de partículas se encuentra en función del *cono de aceptación* de las estaciones, lo cual juega un papel importante en el registro de la intensidad máxima de un GLE.

La asociación de un GLE con los fenómenos solares aun no es concreta, las observaciones se encuentran en más de un 90% relacionado a fulguraciones en el lado visible del disco solar y el resto presumiblemente al lado opuesto del disco solar. La relación con mayor evidencia se encuentra con la emisión de rayos X y las fulguraciones; desafortunadamente no se cuenta con datos suficientes para relacionar el estudio con Eyecciones de Masa Coronal. Las ondas de choque (asociadas tal vez a las EMC) solo aceleran eventualmente partículas no relativistas en alguna etapa posterior, simultanea, o incluso *a priori* a la aceleración principal en las fulguraciones.

La figura 1.4 presenta algunos GLE's tratando de encontrar las relaciones entre el incremento máximo registrado y el tiempo de estabilización. La relación entre el incremento máximo asociado a un GLE y su tiempo de decaimiento para llegar a la oscilación promedio, la consideramos de crucial importancia, al suponer que guarda información sobre el origen o el medio circundante que hace que adapten esta configuración *incremento-tiempo de decaimiento*. Para describir esta relación proponemos el análisis por su espectro de potencia wavelet, sus aplicaciones para describir señales de rápida transitoriedad la convierten en una herramienta útil para la clasificación y descripción de los eventos.

Consideramos que el espectro de potencia wavelet proporciona mayor información respecto al desarrollo del GLE que la información en un perfil temporal. El incremento en el contador de partículas y el tiempo de decaimiento puede describirse con una gama de periodos correspondientes a la configuración *incremento-estabilización*.

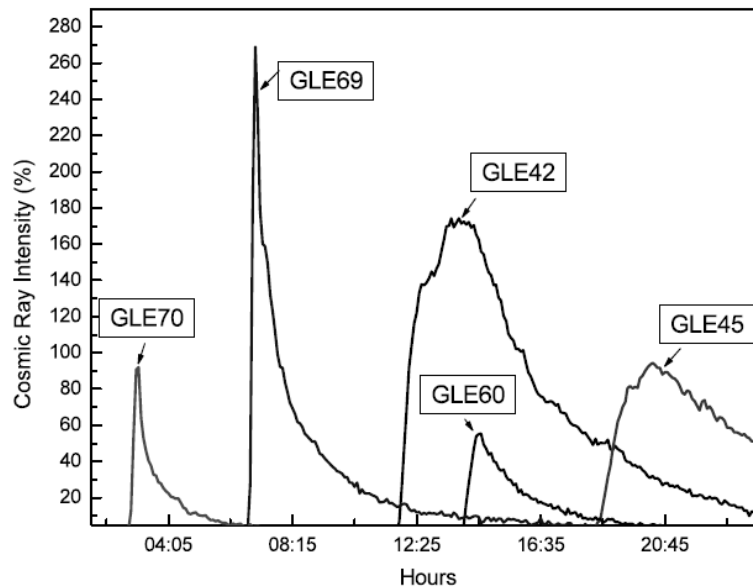


Figura 1.4 Descripción de GLE en función del incremento registrado en la estación de Oulu (perfiles temporales de GLE durante los ciclos 22 y 23), tomado de Andriopoulou *et al.*, 2011.

Tomando en cuenta índices de actividad solar como las Manchas Solares (SS por sus siglas en inglés) que son un indicador directo de la estructura de las líneas de campo magnético (relación directa de la fotosfera) y series de Índice de la Corona (CI por sus siglas en inglés), se tienen resultados publicados del análisis de Coherencia Wavelet entre los indicadores anteriores y la series de pulsos GLE (Pérez-Peraza, *et al.*, 2009); la serie CI e índices de la Fotósfera cubren la totalidad del periodo de registro para los GLE. De acuerdo con el Análisis de Coherencia Wavelet que se realizó para las fechas de ocurrencia, se encontró que los indicadores de la Fotosfera y la Corona se encuentran en anti-fase con la serie temporal de RCG, además, es posible observar que el periodo de control de actividad solar para ambos casos es de 11 años. Como era de esperar, la mayor tasa de incidencia (mas no la totalidad) de los acontecimientos de GLE se lleva a cabo durante el máximo de actividad solar, por otra parte, la tasa de incidencia parece no depender de la intensidad de los ciclos solares (Pérez-Peraza, *et al.*, 2009).

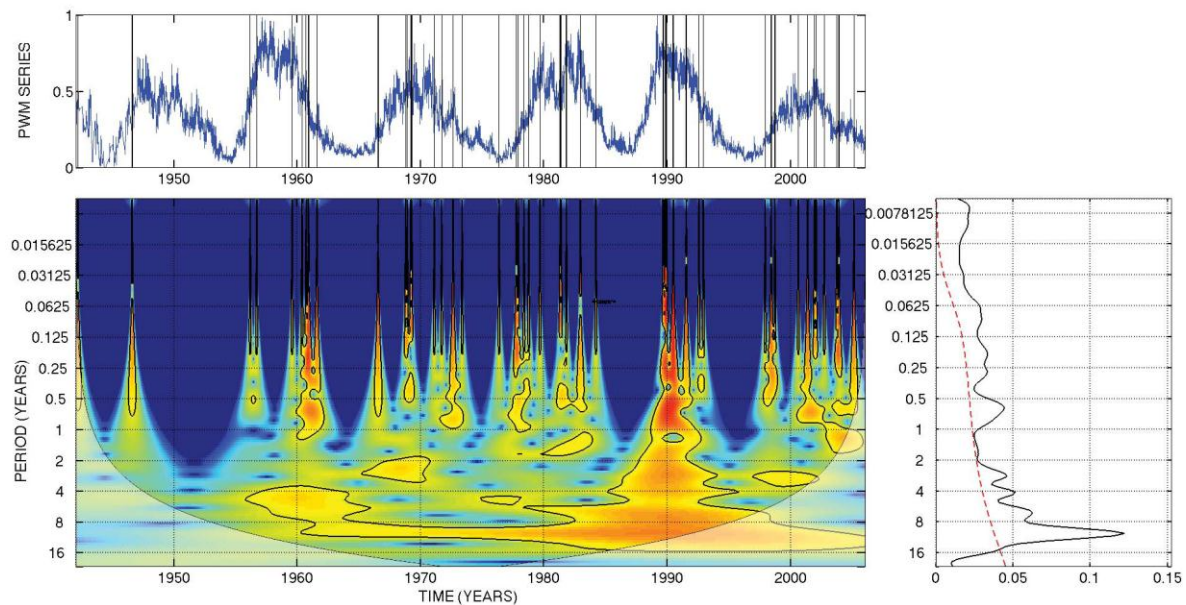


Figura 1.5 Modulación con pulsos de la serie de RSP (Pérez-Peraza, *et al.*, 2009).

Además de los periodos característicos de la actividad solar de mediano plazo (0.3, 0.5, 0.7, 1.3, 3.5, 7 y 11 años) se reportan periodos de corto plazo (menores a tres meses) de 2.5, 5–8, 11, 22–30 y 60 días; del análisis wavelet se reportan periodos de plazo ultra-corto, en el rango de 15 minutos a 10 horas, además periodos de oscilación para la series de manchas solares e índices de la Corona de 2.5, 11,14 y 30 días (SS) y 2.5, 5, 30 y 60 días (IC).

La tendencia en la presencia de RSP durante los máximos en los ciclos de actividad solar puede tal vez, estar asociada, a la presencia de periodicidades de plazo ultra-cortos; puesto que la mayoría de las periodicidades encontradas en RSP, SS y CI son similares, por el momento se puede inferir que existe una sincronización de oscilaciones entre diferentes capas solares, que van desde la sub-fotosfera hasta la Corona, indicando que el fenómeno de RSP no es un fenómeno local específico de la estructura Cromosférica o Coronal (Pérez-Peraza, *et al.*, 2009).

Con al análisis Wavelet y el análisis de Componentes Principales pretendemos proporcionar información que sea orientada a la explicación de la física de un GLE y a la búsqueda de firmas espectrales, que puedan llevar a la predicción de estos fenómenos; en el avance de esta tesis presentamos las bases del análisis de Fourier, el análisis Wavelet y el análisis de Componentes Principales para el sustento de los resultados finales.